



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 118620

(13) C2

(51) МПК

G01V 7/14 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2017 06239

(22) Дата подання заявки: 19.06.2017

(24) Дата, з якої є чинними
права на винахід: 11.02.2019

(41) Публікація відомостей
про заявку: 26.12.2018, Бюл.№ 24

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: 11.02.2019, Бюл.№ 3

(72) Винахідник(и):

Болух Володимир Федорович (UA),
Вінніченко Олександр Іванович (UA)

(73) Власник(и):

Болух Володимир Федорович,
вул. Гвардійців Широнінців, 18-г, кв. 82, м.
Харків-120, 61120 (UA),
Вінніченко Олександр Іванович,
вул. Героїв Сталінграда, 144/1, к. 96, м.
Харків-162, 61162 (UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:

UA 96904 C2, 12.12.2011
RU 2192024 C1, 27.10.2002
UA 111307 C2, 11.04.2016
UA 98058 C2, 10.04.2012
SU 673950 A1, 15.07.1979
RU 2491581 C2, 27.08.2016
US 5351122 A, 27.09.1994
CN 103941302 A, 23.07.2014

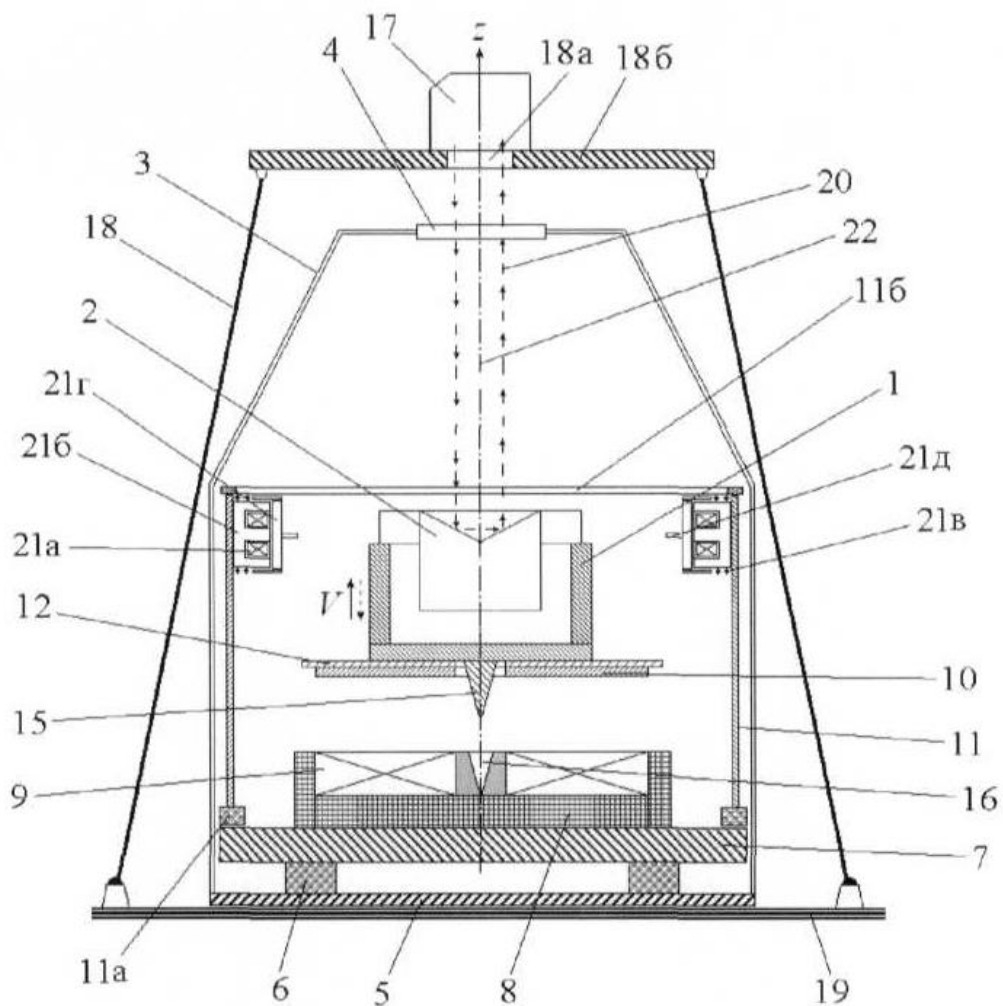
(54) БАЛІСТИЧНИЙ ГРАВИМЕТР ДЛЯ СИМЕТРИЧНОГО ТА НЕСИМЕТРИЧНОГО СПОСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ

(57) Реферат:

Винахід належить до галузі гравіметрії і може бути використаний в балістичних гравіметрах для симетричного способу вимірювань абсолютних значень прискорення вільного падіння g . Балістичний гравіметр для симетричного та несиметричного способів вимірювання прискорення вільного падіння містить пробне тіло 1 з оптичним кутковим відбивачем 2 лазерно-оптичної системи вимірювання g , вакуумну камеру 3, на верхній стінці якої розташовано оптичне вікно 4, а на днищі 5 на демпферах 6 встановлена масивна силова плита 7. У середині вакуумної камери 3 розташована електромеханічна катапульта індукційно-динамічного типу, яка містить котушку 8, у середині якої розташована обмотка 9 дискової форми, і якорь 10, що виконаний у вигляді диска з електропровідного матеріалу, наприклад, міді. На плиті 7 зафіксовані котушки 8 і, радіально охоплюючи її, вертикальні направляючі елементи 11. Нижня сторона якоря 10 повернута до верхньої сторони обмотки котушки, а верхня сторона якоря з'єднана з силовим штовхачним диском 12, взаємозв'язаним з пробним тілом 1. До днища пробного тіла 1 аксіально приєднано направляючий конус 15, форма бокових стінок якого співпадає з формою направляючої конусоподібної аксіальної виїмки 16 котушки 8. В якорі 10 і силовому диску 12 виконані центральні отвори для направляючого конуса 15. Лазерно-оптична система вимірювання включає оптичний приймально-випромінювальний пристрій 17, розташований на тринозі 18, що встановлена на масивній основі 19. При цьому отвір 18а горизонтальної плити 186 триноги 18 для лазерного променя 20 розміщений навпроти оптичного вікна 4 вакуумної камери 3. У верхній частині вертикальних направляючих елементів 11 упорядочено в тангенціальному напрямку, наприклад, через кут 120° закріплено ряд, наприклад три однакових електромагнітних фіксатори 21. Кожний фіксатор 21 складається з обмотки 21а, охопленої нерухомим феромагнітним сердечником 21б, і радіально рухомого відносно центральної осі

UA 118620 C2

гравіметра 22 підпружиненого, наприклад, пружиною 21в, феромагнітного якоря 21г з горизонтально виступаючим елементом 21д. Обмотки 21а електромагнітних фіксаторів 21 електрично з'єднані між собою. Задачею винаходу є розширення функціональних можливостей балістичного гравіметра за рахунок узгодженого використання як симетричного, так і несиметричного методів вимірювання прискорення вільного падіння.



Фіг. 1

Винахід належить до галузі гравіметрії і може бути використаний в балістичних гравіметрах для симетричного способу вимірювань абсолютних значень прискорення вільного падіння g .

Існують гравіметри для визначення абсолютного значення прискорення вільного падіння g шляхом вимірювання параметрів вільного польоту вертикально підкинutoї догори пробної маси (пробного тіла) [1].

Основними елементами такого гравіметра є: вакуумна камера з розміщеною в ній катапультою для підкидання пробного тіла у вигляді куткового оптичного відбивача, лазерний інтерферометр переміщень, електронно-рахункова система для обробки інтерференційного сигналу з виходу інтерферометра з метою обчислення g і керування роботою катапульти.

Відомий балістичний гравіметр, в якому катапульта для підкидання пробного тіла виконана у вигляді якоря соленоїда і напрямних елементів для вертикального руху якоря [2].

Недоліком відомої катапульти з соленоїдним електромагнітним приводом є те, що при кидку пробного тіла наявна віддача, яка через механічний зв'язок діє на рахункову систему - лазерний інтерферометр, збуджуючи в ньому вертикальні коливання і вносячи похибку у результат виміру g .

Відомий балістичний гравіметр для симетричного способу вимірювань прискорення вільного падіння g , який містить пробне тіло з оптичним відбивачем, вакуумну камеру, каретку штовхача з напрямними елементами, соленоїдний електромагнітний привод, що складається з якоря і котушки (обмотки), причому каретка штовхача зв'язана з якорем соленоїда рівноплечим пантографом, забезпечуючи при цьому зменшення віддачі катапульти при підкиданні пробного тіла [3].

У даному гравіметрі за рахунок зменшення віддачі катапульти при підкиданні пробного тіла забезпечується підвищення точності виміру прискорення вільного падіння g .

Недоліком відомого технічного рішення є багатоступенева передача енергії від електричного джерела, що живить обмотку котушки, на вертикальне переміщення каретки з пробним тілом. Забезпечення зазначеного перетворення енергії здійснюється через переміщення якоря вниз, осьове розтискання і радіальне стискання пантографа відносно нерухомої осі, механічна взаємодія підшипників каретки і якоря з напрямними елементами. При осьовому розтисканні пантографа відбувається механічна взаємодія значної кількості шарнірних елементів як між собою, так і з нерухомою віссю, яка з'єднана з вакуумною камерою.

За рахунок значної осьової висоти пантографа в балістичному гравіметрі збільшуються габарити неробочої зони вакуумної камери. Створення зазначеного штовхача обумовлює жорсткі вимоги до розмірів, маси і контактних поверхонь його механічних елементів для недопущення виникнення радіальних сил, що спричиняють відхилення пробного тіла від вертикальної осі.

Оскільки зазначений електромагнітний, механічний штовхач механічно пов'язаний з іншими нерухомими елементами, наприклад, зі стінками вакуумної камери, то під час роботи балістичний гравіметр зазнає дії різних механічних коливань, спричинених ударно-вібраційними процесами. Ці вібрації являють собою нестаціонарний випадковий процес і ведуть до появи детермінованої основи у похибці виміру, яка може змінюватись.

Такі систематичні складові похибки не можуть бути зменшені проведенням повторних вимірів, і подальше підвищення динамічної точності може бути досягнуте за рахунок зменшення (в ідеалі до нуля) кількості механічних взаємодій рухомих з нерухомими елементами.

У відомому балістичному гравіметрі через механічну взаємодію рухомих з нерухомими елементами при роботі у вакуумі необоротно змінюються контактні поверхні: виникають мікроскопічні тріщини, руйнуються поверхневі, наприклад, окисні плівки, збільшується коефіцієнт тертя, а знос елементів може досягнути неприпустимих величин, які виключають нормальне функціонування гравіметра [4].

Взаємодія феромагнітного якоря з обмоткою котушки електромагнітного привода не дозволяє через нелінійну криву намагнічування і насичення феромагнітного матеріалу регулювати швидкість каретки штовхача в необхідних межах із забезпеченням заданої величини.

Найбільш близьким за своєю технічною суттю до винаходу, що пропонується, є балістичний гравіметр для симетричного способу вимірювань прискорення вільного падіння g , який містить пробне тіло з оптичним кутковим відбивачем, вакуумну камеру, штовхач пробного тіла, напрямні елементи, електромеханічну катапульта індукційно-динамічного типу, виконану у вигляді обмотки дискової форми, яка замонолічена епоксидним компаундом і підключається до емнісного накопичувача енергії і розташована в котушці з ізоляційного матеріалу, якір, виконаний у вигляді диска з електропровідного матеріалу, нижня сторона якого повернена до верхньої сторони обмотки котушки, а верхня сторона з'єднана з силовим штовхаючим диском

так, що упорядковано розташовані в тангенціальному напрямку на одному радіусі силового диска, принаймні три отвори з підшипниками охоплюють напрямні елементи, виконані у вигляді вертикальних стійок круглого перерізу, при цьому обмотка з'єднана з ємнісним накопичувачем енергії за допомогою двох зустрічно-паралельно з'єднаних керованих тиристорів, один з яких

5 забезпечує початкове відштовхування, а інший - наступне гальмування якоря відносно обмотки котушки [5]. Балістичний гравіметр містить встановлену на демпферах на днищі вакуумної камери масивну силову плиту, на якій зафіксовані котушка і, радіально охоплюючи її, вертикальні стійки.

У відомому балістичному гравіметрі здійснюється безпосередня передача енергії від електричного джерела, що живить обмотку котушки, на вертикальне переміщення пробного тіла. При такому електромеханічному перетворенні енергії за допомогою магнітного поля не відбувається механічної взаємодії різних механічних елементів між собою і з вакуумною камерою.

Електромеханічна катапульта індукційно-динамічного типу забезпечує безконтактне перетворення електричної енергії ємнісного накопичувача в кінетичну енергію вертикального переміщення пробного тіла.

Ємнісний накопичувач може тривалий час заряджатися від зовнішнього джерела малим струмом, наприклад, від автономного акумулятора і розряджатися на обмотку котушки за короткий час великим струмом, що важливо для створення механічного імпульсу відштовхування якоря.

Оскільки обмотка з'єднана з ємнісним накопичувачем енергії за допомогою двох зустрічно-паралельно з'єднаних тиристорів, то при подачі напруги на керуючий електрод першого тиристора забезпечується початкове відштовхування якоря від обмотки котушки, а при подачі через певний час напруги на керуючий електрод другого тиристора забезпечується

25 електродинамічне гальмування якоря, що викликає його різкий удар об обмотку котушки.

Замонолічування обмотки котушки (залівка з подальшим затвердінням) епоксидним компаундом робить таку конструкцію міцною, цілісною і надійною.

Індукційно-динамічний привод, що пропонується, дозволяє легко регулювати силу і тривалість імпульсу струму в обмотці, що дозволяє змінювати висоту підкидання пробного тіла в заданому діапазоні без зміни решти параметрів і положення у просторі балістичного гравіметра.

Але відомий балістичний гравіметр має обмежені функціональні можливості за рахунок того, що він використовує тільки симетричний спосіб вимірювань прискорення вільного падіння g . У той же час значна частина гравіметрів використовує несиметричний спосіб вимірювань [6].

35 Кожний із зазначених способів вимірювання g має свої недоліки і переваги. При цьому коректне порівняння симетричного та несиметричного способів можна провести тільки при використанні однакових вихідних умов. При цьому узгоджене за всіма показниками використання зазначених методів відкриває можливість для створення еталонного зразка балістичного гравіметра, що дозволяв би здійснювати повірку гравіметрів, що використовують як симетричний, так і

40 несиметричний способи вимірювання g .

Крім того, виконання котушки з ізоляційного матеріалу створює магнітні поля розсіювання в навколишній простір, що впливає на точність вимірювання g .

Задачею винаходу є розширення функціональних можливостей балістичного гравіметра за рахунок узгодженого використання як симетричного, так і несиметричного методів вимірювання прискорення вільного падіння.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що у відомому балістичному гравіметрі для симетричного способу вимірювання прискорення вільного падіння, який містить пробне тіло з оптичним кутковим відбивачем лазерно-оптичної системи вимірювання, вакуумну камеру, усередині якої розташована електромеханічна катапульта індукційно-динамічного типу і встановлена на демпферах на днищі вакуумної камери масивна силова плита, на якій установлені котушка катапульти і, радіально охоплюючи її, вертикальні направляючі елементи, катапульта складається з розміщеної в котушці обмотки дискової форми, замоноліченої епоксидним компаундом, і виконаного у вигляді диска з електропровідного матеріалу якоря, нижня сторона якого повернена до верхньої сторони обмотки котушки, а верхня сторона з'єднана з силовим штовхаючим диском, взаємозв'язаним з пробним тілом, при цьому обмотка з'єднана з ємнісним накопичувачем енергії за допомогою двох зустрічно-паралельно з'єднаних керованих тиристорів, один з яких забезпечує початкове відштовхування, а інший - наступне гальмування якоря відносно обмотки котушки, відповідно до винаходу, що пропонується, у верхній частині вертикальних направляючих елементів упорядковано в тангенціальному напрямку закріплено ряд однакових електромагнітних фіксаторів, кожний з яких складається з

60

обмотки, охопленої нерухомим феромагнітним сердечником, і радіально рухомого відносно осі гравіметра підпружиненого феромагнітного якоря з горизонтально виступаючим елементом, забезпечуючи фіксацію силового штовхаючого диска шляхом переміщення феромагнітного якоря до центральної осі, при цьому обмотки електромагнітних фіксаторів електрично з'єднані між собою, а котушка катапульти виконана з магнітного матеріалу з високим електричним опором для індукційних вихрових струмів.

Крім того, при фіксації силового штовхаючого диска, підкинутого індукційно-динамічною катапультою вище горизонтально виступаючих елементів, його зовнішній діаметр перевищує внутрішній діаметр виступаючих елементів електромагнітних фіксаторів, а при вільному переміщенні штовхаючого диска внутрішній діаметр вказаних виступаючих елементів електромагнітних фіксаторів перевищує зовнішній діаметр штовхаючого диска.

Крім того, котушка катапульти виконана з магнітодіелектричного матеріалу.

Крім того, котушка катапульти виконана з феромагнітного матеріалу з радіальними розрізами.

Крім того, вертикальні направляючі елементи виконані у вигляді порожнистого циліндра.

Крім того, вертикальні направляючі елементи виконані у вигляді ряду тангенціально упорядкованих стійок, з'єднаних у верхній частині кріпильним обручем.

Електромагнітні фіксатори, які закріплені у верхній частині вертикальних направляючих елементів, упорядковано в тангенціальному напрямку дозволяють як фіксувати, так і не фіксувати підкинуте катапультою пробне тіло з оптичним кутковим відбивачем лазерно-оптичної системи вимірювання. При фіксації підкинутого уверх пробного тіла одночасного переміщення горизонтально виступаючих елементів електромагнітних фіксаторів до центральної осі, реалізується несиметричний спосіб вимірювання g .

При цьому електромеханічна катапульта використовується для установки пробного тіла в початковий стан шляхом подачі напруги на керуючий електрод першого тиристора. А при подачі напруги на керуючий електрод другого тиристора забезпечується електродинамічне гальмування якоря, що виключає його різкий удар об обмотку котушки.

При відсутності фіксації пробного тіла реалізується симетричний спосіб вимірювання g : при подачі напруги на керуючий електрод першого тиристора забезпечується початкове відштовхування якоря від обмотки котушки, а при подачі через певний час напруги на керуючий електрод другого тиристора забезпечується електродинамічне гальмування якоря. При цьому горизонтально виступаючі елементи не взаємодіють з силовим штовхаючим диском, оскільки максимально віддалені від центральної осі гравіметра. При даному способі вимірювання g горизонтально виступаючі елементи виконують роль початкового центрування пробного тіла в гравіметрі: якщо силовий штовхаючий диск задів (здійснив контакт) один з горизонтально виступаючих елементів, то значить початково його було встановлено з нахилом або з початковим зміщенням в сторону даного виступаючого елемента.

Всі електромагнітні фіксатори спрацьовують одночасно, оскільки вони виконані однаковими, а їх обмотки електрично з'єднані між собою.

Виконання котушки катапульти з магнітного матеріалу з високим електричним опором, а саме з магнітодіелектричного матеріалу або з феромагнітного матеріалу з радіальними розрізами, практично усуває індукування в них вихрових струмів. При цьому магнітний матеріал котушки підсилює ефективність катапульти, забезпечуючи велику висоту підкидання пробного тіла, і не створює магнітних полів розсіювання в навколишній простір, що важливо для надточного вимірювання g .

На Фіг. 1 схематично показано балістичний гравіметр, у якому вертикальні направляючі елементи виконані у вигляді ряду тангенціально упорядкованих стійок, з'єднаних у верхній частині кріпильним обручем, у процесі вимірювання прискорення вільного падіння;

На Фіг. 2 - половина балістичного гравіметра на фіг. 1 в початковому стані;

На Фіг. 3 - вигляд на Фіг. 2 балістичного гравіметра, у якому вертикальні направляючі елементи виконані у вигляді порожнистого циліндра;

На Фіг. 4 - вигляд на Фіг. 2 балістичного гравіметра, у якому штовхаючий диск фіксовано виступаючими елементами електромагнітних фіксаторів;

На Фіг. 5 - вигляд на Фіг. 2 балістичного гравіметра, у якому виступаючі елементи електромагнітних фіксаторів не перешкоджають вільному руху силового штовхаючого диска;

На Фіг. 6 - вигляд I на Фіг. 2;

На Фіг. 7 - вигляд II на Фіг. 4;

На Фіг. 8 - вигляд III на Фіг. 5;

На Фіг. 9 - електрична схема індукційно-динамічної катапульти балістичного гравіметра, де L_1 , R_1 - індуктивність і опір обмотки; L_2 , R_2 - індуктивність і опір якоря; M_{12} - взаємна індуктивність

між обмоткою та якорем; V - швидкість переміщення якоря вздовж вертикальної осі z ; t - час; C - ємність ємнісного накопичувача енергії; VS_0 , VS_1 , VS_2 - тиристори, відповідно, на зарядку ємнісного накопичувача, на підкидання та гальмування якоря відносно обмотки.

Балістичний гравіметр для симетричного та несиметричного способів вимірювання прискорення вільного падіння містить пробне тіло 1 з оптичним кутковим відбивачем 2 лазерно-оптичної системи вимірювання g , вакуумну камеру 3, на верхній стінці якої розташоване оптичне вікно 4, а на днищі 5 на демпферах 6 встановлена масивна силова плита 7.

Усередині вакуумної камери 3 розташована електроомеханічна катапульта індукційно-динамічного типу, яка містить котушку 8, усередині якої розташована обмотка 9 дискової форми, та якір 10, що виконаний у вигляді диска з електропровідного матеріалу, наприклад, міді. На плиті 7 зафіксовані котушка 8 і, радіально охоплюючи її, вертикальні направляючі елементи 11. Ці елементи 11, які встановлені на демпферах 6а, можуть бути виконані або у вигляді порожнистого циліндра (Фіг. 3), або у вигляді тангенціально упорядкованих стійок, з'єднаних у верхній частині кріпильним обручем 11б (Фіг. 2).

Котушка 8 катапульти виконана з магнітного матеріалу з високим електричним опором для індукційних вихрових струмів, наприклад з магнітодіелектричного матеріалу, або з феромагнітного матеріалу з радіальними розрізами.

Обмотка 9 замонолічена епоксидним компаундом. Нижня сторона якоря 10 повернена до верхньої сторони обмотки котушки, а верхня сторона якоря з'єднана з силовим штовхаючим диском 12, взаємозв'язаним з пробним тілом 1. Силовий диск 12 виконано з міцного матеріалу, наприклад нержавіючої немагнітної сталі.

Обмотка 9 підключається до ємнісного накопичувача енергії C за допомогою двох тиристорів VS_1 і VS_2 (Фіг. 9). Указані тиристори з'єднані зустрічно-паралельно між собою і призначені для забезпечення підкидання (VS_1) і гальмування (VS_2) якоря відносно обмотки 9 котушки 8.

Тиристор VS_0 призначений для забезпечення заряду ємнісного накопичувача C від джерела живлення 13. Управляючі електроди тиристорів VS_0 , VS_1 і VS_2 приєднані до блока управління 14.

До днища пробного тіла 1 аксіально приєднано направляючий конус 15, форма бокових стінок якого співпадає з формою направляючої конусоподібної аксіальної виїмки 16 котушки 8. В якорі 10 і силовому диску 12 виконані центральні отвори для направляючої конуса 15.

Лазерно-оптична система вимірювання включає оптичний приймально-випромінювальний пристрій 17, розташований на тринозі 18, що встановлена на масивній основі 19. При цьому отвір 18а горизонтальної плити 18б триноги 18 для лазерного променя 20 розміщений навпроти оптичного вікна 4 вакуумної камери 3.

У верхній частині вертикальних направляючих елементів 11 упорядковано в тангенціальному напрямку, наприклад, через кут 120° закріплено ряд, наприклад, три однакових електромагнітних фіксатори 21. Кожний фіксатор 21 складається з обмотки 21а, охопленої нерухомим феромагнітним сердечником 21б, і радіально рухомим відносно центральної осі гравіметра 22 підпружиненого, наприклад, пружиною 21в, феромагнітного якоря 21г з горизонтально виступаючим елементом 21д. Обмотки 21а електромагнітних фіксаторів 21 електрично зв'язані між собою.

Горизонтально виступаючі елементи 21д дозволяють забезпечити фіксацію силового штовхаючого диска 12 шляхом одночасного переміщення підпружинених феромагнітних якорів 21г до центральної осі 22.

При фіксації силового штовхаючого диска 12, підкинутого індукційно-динамічною катапулькою вище горизонтально виступаючих елементів 21д, його зовнішній діаметр D_{12} перевищує внутрішній діаметр D_{21} виступаючих елементів 21д електромагнітних фіксаторів 21 (Фіг. 4, 7). А при вільному переміщенні штовхаючого диска 12 внутрішній діаметр D_{12} виступаючих елементів 21д електромагнітних фіксаторів перевищує зовнішній діаметр D_{12} штовхаючого диска 12 (Фіг. 5, 8).

Балістичний гравіметр працює наступним чином.

При симетричному способі вимірювання прискорення вільного падіння на обмотці 21а електромагнітних фіксаторів 21 подається струм та їх феромагнітні якорі 21г, долаючи силу стиснення пружин 21в, притискаються до феромагнітних сердечників 21б. Горизонтально виступаючі елементи 21д фіксаторів 21 віддаляються від центральної осі 22, і внутрішній діаметр D_{12} виступаючих елементів 21д електромагнітних фіксаторів перевищує зовнішній діаметр D_{12} штовхаючого диска 12.

Після цього подають сигнал з блока управління 14 на тиристор VS_0 , здійснюючи зарядку ємнісного накопичувача C від джерела живлення 13. Після зарядки тиристор VS_0 закривається. При подачі сигналу з блока управління 14 тиристор VS_1 відкривається, і починається розряд

ємнісного накопичувача С на обмотку 9 котушки 8. При цьому в обмотці виникає однополярний імпульс струму через те, що тиристор має односторонню провідність. Під дією струму обмотки виникає магнітне поле, яке наводить в якорі 10 струм. Ємнісний накопичувач при цьому змінює полярність напруги на протилежну зі зниженою величиною відносно до початкової. Тиристор VS_1 закривається.

Оскільки струми обмотки 9 і якоря 10 мають протилежну полярність, між ними виникає імпульс аксіальної електродинамічної сили відштовхування, під дією якого якор 10 разом з силовим диском 12 і пробним тілом 1 здійснюють вільне вертикальне переміщення вздовж осі z. При цьому включається оптичний приймально-випромінювальний пристрій 17, який діє за допомогою лазерного променя 20 на оптичний кутковий відбивач 2, і здійснюється симетричний спосіб вимірювання прискорення вільного падіння g.

Якщо в процесі підкидання пробного тіла 1 силовий штовхаючий диск 12 зачепив один з горизонтально виступаючих елементів 21д, то здійснюють коректування установки пробного тіла 1 таким чином, щоб усунути зазначений контакт.

При падінні якоря 10 униз в момент наближення його до обмотки 9 з блока управління 14 на тиристор VS_2 надходить сигнал на його відкриття, і починається розряд ємнісного накопичувача С на обмотку 9 котушки 8. Оскільки напруга ємнісного накопичувача u_c при цьому менше початкової, то виникаюча електродинамічна сила відштовхування від обмотки 9 достатня лише для плавного гальмування падаючого вниз якоря 10 з пробним тілом 1.

При несиметричному способі вимірювання прискорення вільного падіння здійснюють наступну послідовність дій.

На початку на обмотки 21а електромагнітних фіксаторів 21 подається струм, і горизонтально виступаючі елементи 21д фіксаторів 21 віддаляються від центральної осі 22. При цьому внутрішній діаметр D_{21} виступаючих елементів 21д електромагнітних фіксаторів 21 перевищує зовнішній діаметр D_{12} штовхаючого диска 12.

Після цього по сигналу з блока управління 14 відкривають тиристор VS_1 , і починається розряд попередньо зарядженого ємнісного накопичувача С на обмотку 9 котушки 8. При цьому під дією імпульсу аксіальної електродинамічної сили відштовхування якор 10 разом зі штовхаючим диском 12 і пробним тілом 1 здійснює вертикальне підкидання вздовж осі z на висоту, яка перевищує виступаючі елементи 21д електромагнітних фіксаторів.

Коли пробне тіло знаходиться на максимальній висоті, фіксований оптичним приймально-випромінювальним пристроєм 17, при дії лазерного променя 20 на оптичний кутковий відбивач 2, виключається струм в обмотках 21а електромагнітних фіксаторів 21, і пропадає сила електромагнітного притягання феромагнітних якорів 21г до феромагнітних сердечників 21б. Під дією пружин 21в феромагнітні якоря 21г наближаються до центральної осі 22. При цьому внутрішній діаметр D_{21} виступаючих елементів 21 д електромагнітних фіксаторів 21 стає менше зовнішнього діаметра D_{12} штовхаючого диска 12. Це приводить до фіксації диска 12 виступаючими елементами 21д електромагнітних фіксаторів 21. Штовхаючий диск 12 з пробним тілом 1 утримується виступаючими елементами 21д електромагнітних фіксаторів на висоті відносно обмотки 9 котушки 8.

Після цього включають оптичний приймально-випромінювальний пристрій 17. Потім на обмотки 21а електромагнітних фіксаторів 21 подається струм, і їх феромагнітні якорі 21г, долаючи силу стиснення пружин 21в, притискаються до феромагнітних сердечників 21б. Горизонтально виступаючі елементи 21 д фіксаторів 21 віддаляються від центральної осі 22, і внутрішній діаметр D_{21} виступаючих елементів 21д електромагнітних фіксаторів перевищує зовнішній діаметр D_{12} штовхаючого диска 12. Пробне тіло 1 здійснює вільне падіння, під час якого здійснюється несиметричний спосіб вимірювання прискорення вільного падіння g.

При падінні якоря 10 в момент наближення його до обмотки 9 з блока управління 14 на тиристор VS_2 подають сигнал на його відкриття, і починається розряд ємнісного накопичувача С на обмотку 9 котушки 8. Виникаюча між якорем 10 та обмоткою 9 електродинамічна сила відштовхування забезпечує плавне гальмування падаючого вниз якоря 10 з пробним тілом 1.

Пропонований балістичний гравіметр забезпечує вимірювання прискорення вільного падіння як симетричним, так і несиметричним способами. Це розширює функціональні можливості гравіметра і підвищує його точність за рахунок одночасного вимірювання g різними способами.

Джерела інформації:

1. А.П. Юзефович, Л.В. Огородова. "Гравиметрия". -М.: Недра, 1980.

2. Агрегат 15В 166. Техническое описание ПБ 1.530.001 ТО, МО СССР, 1987.

3. Патент Росії № 2192024, МПК G01V7/14. Баллистический гравиметр для симметричного способа измерений. - Заявка № 2001120196/28, 18.07.2001. - Опубликовано 27.10.2002.

4. Крагельский И.В. и др. Трение и износ в вакууме. -М.: Машиностроение, 1973. - 216 с.

5. Патент України № 96904, МПК G01V7/14. Балістичний гравіметр з індукційно-динамічним приводом для симетричного способу вимірювань прискорення вільного падіння. - Надрук. 12.12.2011. Бюл. № 20 (прототип).

6. Болюх В., Вінніченко О. Сучасні абсолютні лазерні гравіметри й їхні метрологічні характеристики// Метрологія та прилади. - 2013. - № 5. - С. 47-56.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Балістичний гравіметр для симетричного та несиметричного способів вимірювання прискорення вільного падіння, який містить пробне тіло з оптичним кутковим відбивачем лазерно-оптичної системи вимірювання, вакуумну камеру, усередині якої розташована електромеханічна катапульта індукційно-динамічного типу і установлена на демпферах на днищі вакуумної камери масивна силова плита, на якій установлена котушка катапульти і, радіально охоплюючи її, вертикальні направляючі елементи, катапульта складається з розташованої в котушці обмотки дискової форми, замоноліченої епоксидним компаундом, і виконаної у вигляді диска з електропровідного матеріалу якоря, нижня сторона якого повернена до верхньої сторони обмотки котушки, а верхня сторона з'єднана з силовим штовхаючим диском, взаємозв'язані з пробним тілом, при цьому обмотка з'єднана з ємнісним накопичувачем енергії за допомогою двох зустрічно-паралельно з'єднаних управляючих тиристорів, один з яких забезпечує початкове відштовхування, а другий - подальше гальмування якоря відносно обмотки котушки, який відрізняється тим, що у верхній частині вертикальних направляючих елементів упорядковано в тангенціальному напрямку закріплено ряд однакових електромагнітних фіксаторів, кожний з яких складається з обмотки, охопленої нерухомим феромагнітним сердечником, і радіально рухомого відносно осі гравіметра підпружиненого феромагнітного якоря з горизонтально виступаючим елементом, який забезпечує фіксацію силового штовхаючого диска шляхом переміщення феромагнітного якоря до центральної осі, при цьому обмотки електромагнітних фіксаторів електрично з'єднані між собою, а котушка катапульти виконана з магнітного матеріалу з високим електричним опором для індукційних вихрових струмів.
2. Балістичний гравіметр за п. 1, який **відрізняється** тим, що при фіксації силового штовхаючого диска, підкинутого індукційно-динамічною катапультию вище горизонтально виступаючих елементів, його зовнішній діаметр перевищує внутрішній діаметр горизонтально виступаючих елементів електромагнітних фіксаторів, а при вільному переміщенні штовхаючого диска внутрішній діаметр горизонтально виступаючих елементів електромагнітних фіксаторів перевищує зовнішній діаметр штовхаючого диска.
3. Балістичний гравіметр за п. 1, який **відрізняється** тим, що котушка катапульти виконана з магнітодіелектричного матеріалу.
4. Балістичний гравіметр за п. 1, який **відрізняється** тим, що котушка катапульти виконана з феромагнітного матеріалу з радіальними розрізами.
5. Балістичний гравіметр за п. 1, який **відрізняється** тим, що вертикальні направляючі елементи виконані у вигляді порожнистого циліндра.
6. Балістичний гравіметр за п. 1, який **відрізняється** тим, що вертикальні направляючі елементи виконані у вигляді ряду тангенціально упорядкованих стійок, з'єднаних у верхній частині кріпильним обручем.

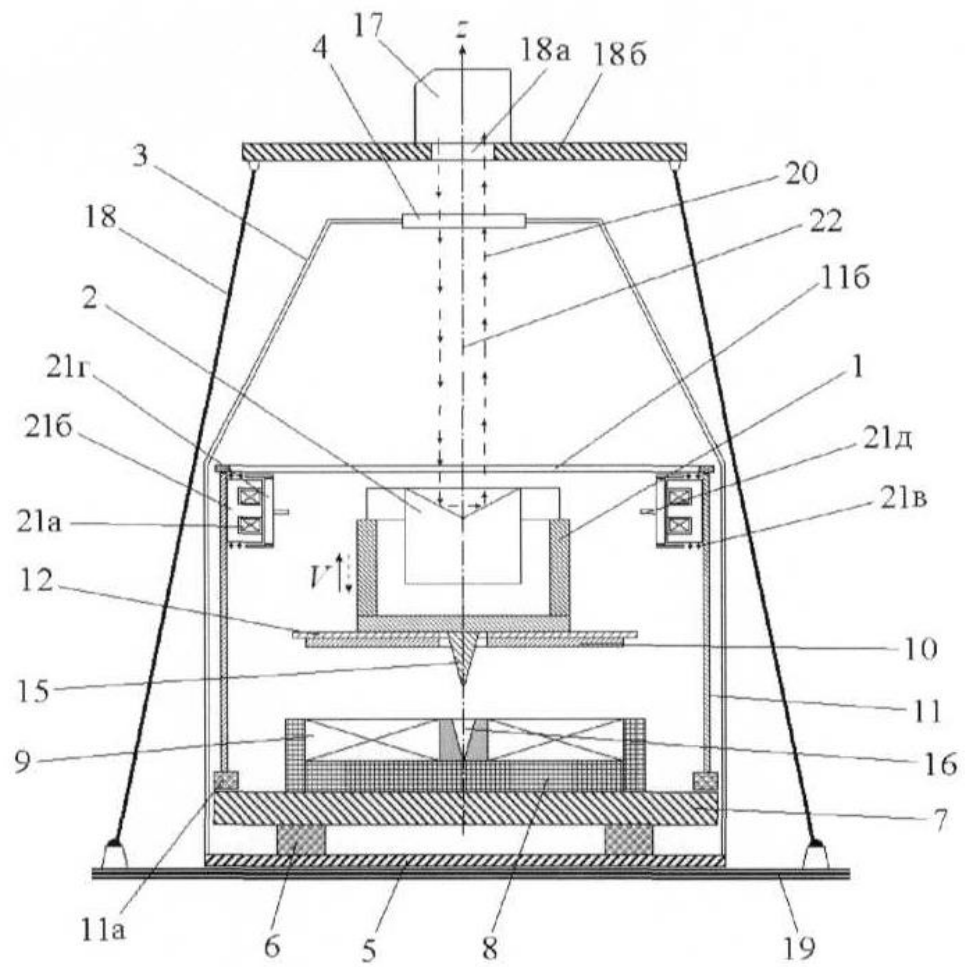


Fig. 1

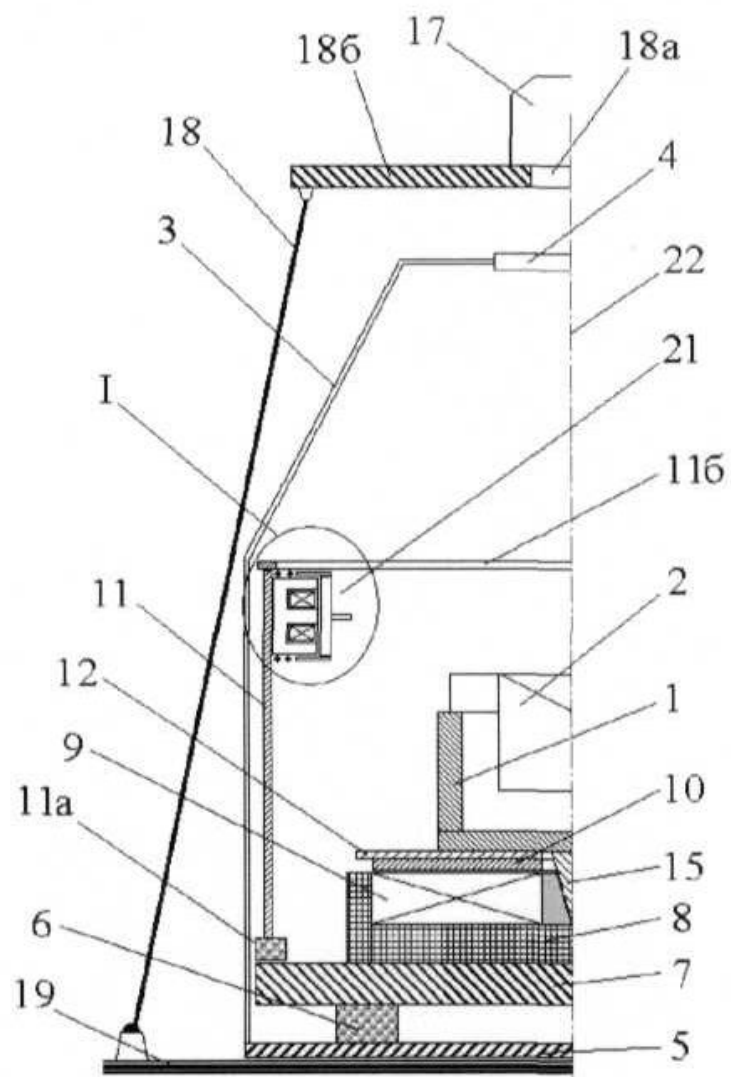


Fig. 2

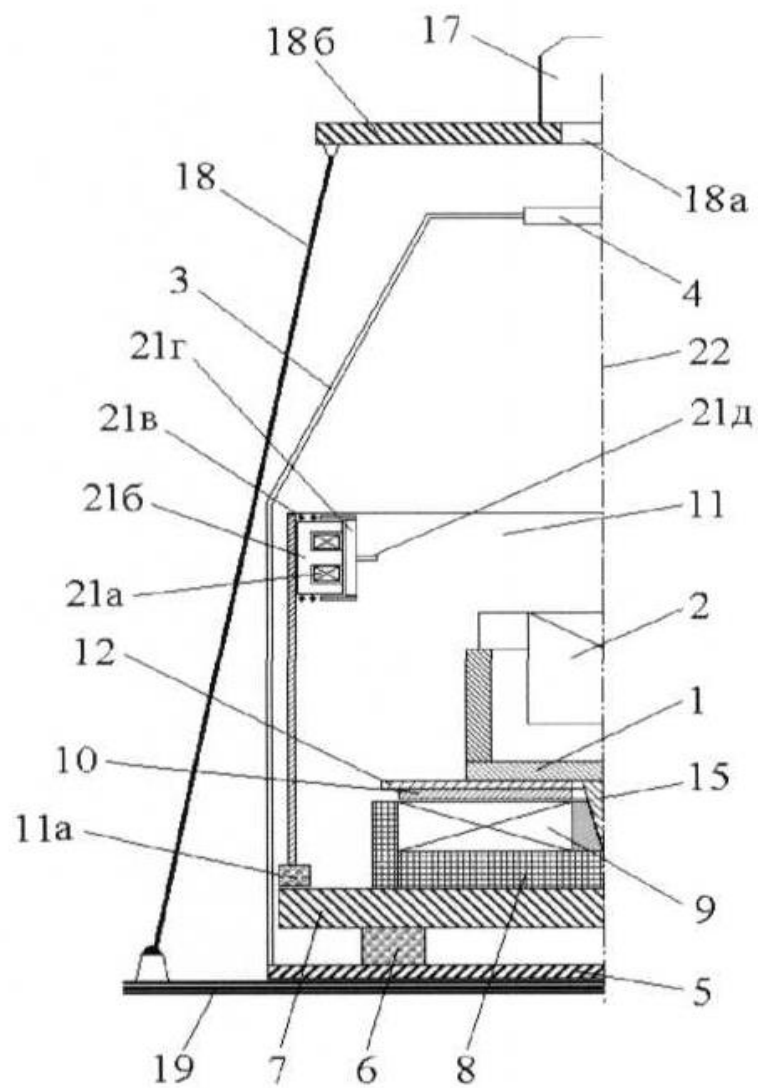


Fig. 3

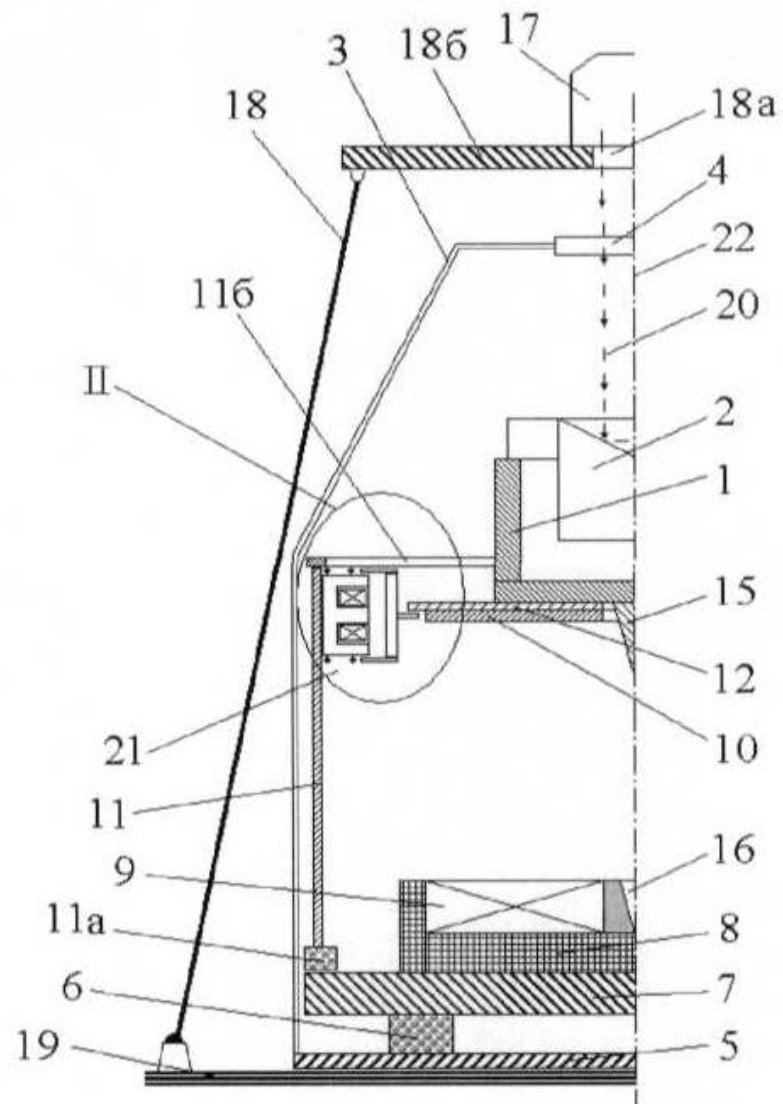


Fig. 4

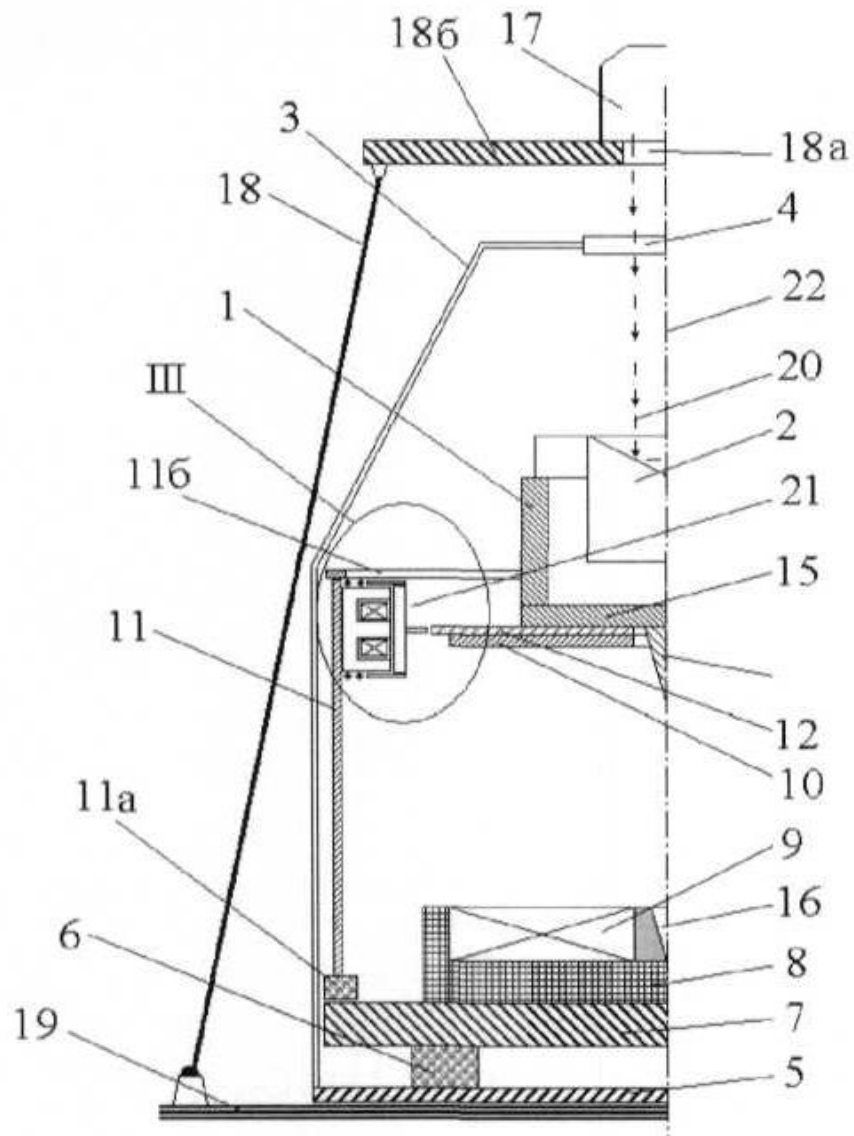
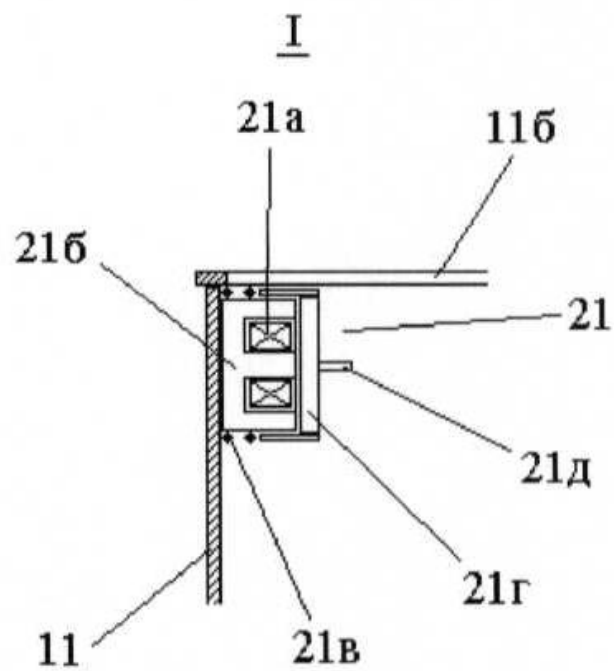
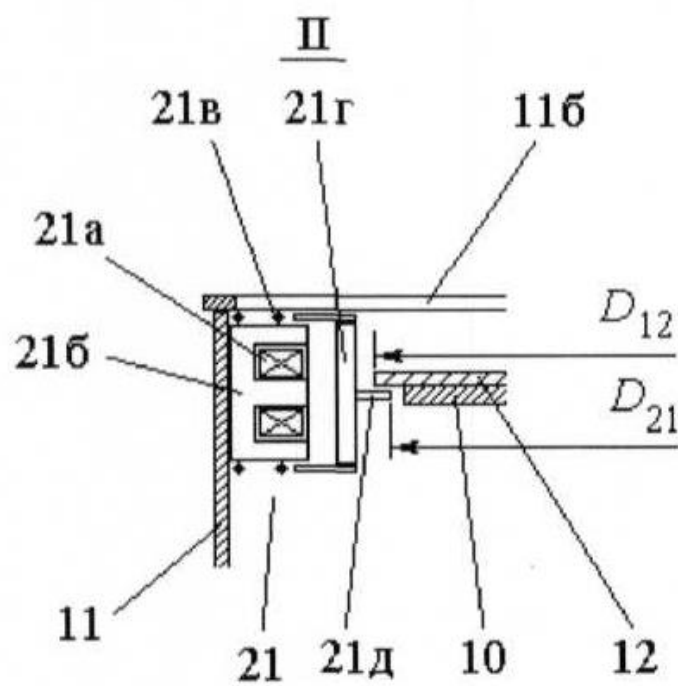


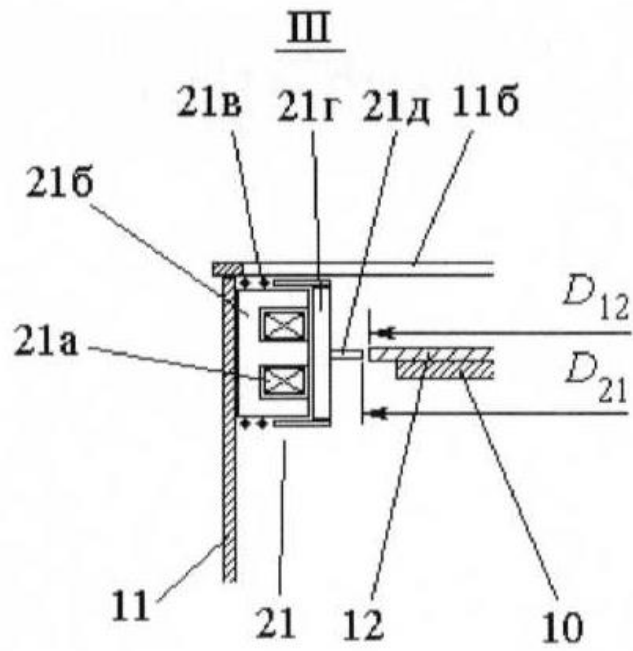
Fig. 5



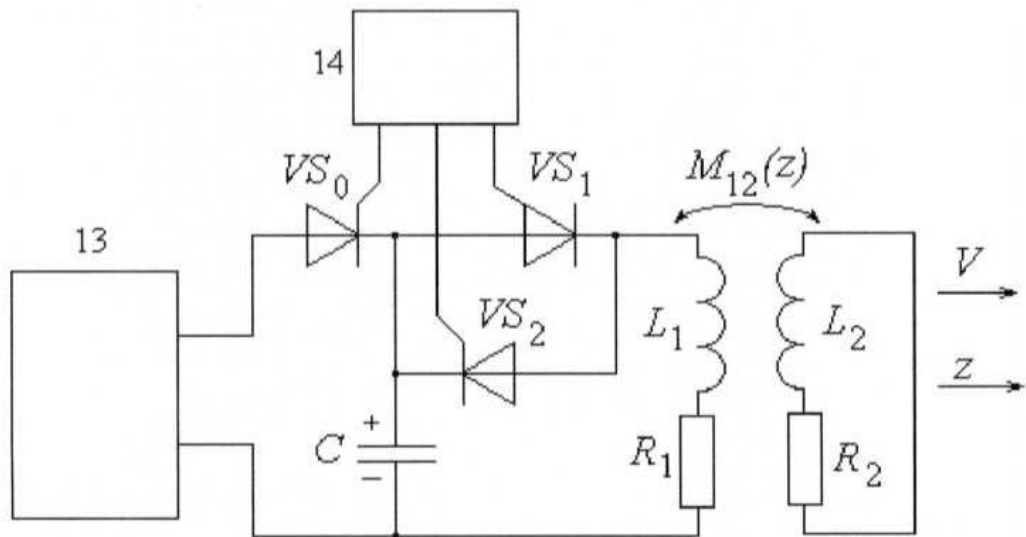
Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9

Комп'ютерна верстка О. Рябко

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601